

Institut Sénégalais de Recherches Agricoles  
(ISRA)

Centre de Coopération International en Recherche Agronomique pour le Développement  
(CIRAD)

Institut Français de Recherche Scientifique pour le développement en Coopération  
(ORSTOM)

R<sup>3</sup>S

PROGRAMME CEE-CIRAD N° TS2A 0017 F CD

FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE DES BAS-FONDS

SYNTHESE PRELIMINAIRE

*Jean ALBERGEL*  
*Chargé de Recherche hydrologue*  
*UR 2B Département Eaux Continentales de l'ORSTOM*

Dakar, Novembre 1988

12 FEVR. 1990

ORSTOM Fonds Documentaire

N° : 27.467 ex 1

Cote : B P154

## RESUME

Les bas-fonds de l'Afrique de l'Ouest sont définis à partir d'un modèle idéal. L'ensemble des connaissances sur le fonctionnement hydrologique des bas-fonds est passé en revue. Une synthèse géographique des études a été réalisée à partir d'une recherche bibliographique. Enfin sont décrits les grands types de bas-fonds de la zone soudano-sahélienne. Leur fonctionnement hydrologique est expliqué en relation avec la morphologie et l'hydrodynamique des sols et des états de surfaces. Des ordres de grandeur sont donnés par grande famille. Sont abordées les possibilités d'aménagement en fonction de la ressource en eau.

## INTRODUCTION

Depuis la bordure nord du Sahel jusqu'aux zones forestières du sud de la GUINEE, les bas-fonds sont de plus en plus cultivés. Le développement des cultures dans les bas-fonds est lié à l'augmentation des contraintes de l'agriculture pluviale sur les versants: sécheresse dans le Nord (GROUZIS & ALBERGEL, à paraître), appauvrissement, érosion des sols ou manque de terres arables sur les versants, sous les climats plus humides.

Le développement des ressources des bas-fonds nécessite la conception d'ouvrages hydrauliques assurant le stockage, la distribution de l'eau d'irrigation et la protection contre les crues.

Chaque aménagement doit être pensé à la fois en fonction de la ressource en eau (risque de défaillance) et en fonction des contraintes qu'il impose à la société rurale qui va l'utiliser : difficultés de gestion, en terme d'eau, de terres et de travail (LAMACHERE, 1986 SERPANTIE, 1988).

Dans le cadre du programme de recherche "Typologie, fonctionnement hydrologique, potentialités agricoles des bas-fonds de l'Afrique de l'Ouest" élaboré dans le cadre du réseau R3S, une synthèse préliminaire de l'ensemble des acquis sur la caractérisation, le fonctionnement hydrologique et l'aménagement des bas-fonds était prévue à la fin de la première année de travail.

Au cours des réunions à OUAGADOUGOU du 11 Février et du 28 et 29 Avril 1988, une synthèse sectorielle concernant les études en hydrologie a été confiée à l'ORSTOM.

Suivant les orientations prises au cours de ces réunions de travail cette synthèse comprend trois parties :

- Définition d'un bas-fond et description du bas-fond "modèle idéal" rencontré en zone soudano-sahélienne.

- Synthèse des études consacrées au fonctionnement hydrologique et à la détermination des paramètres de l'écoulement nécessaire à tout aménagement. L'aspect répartition géographique des études est abordé en même temps que les thèmes de ces études.

- Les grands types de bas-fonds de la zone soudano-sahélienne et leur fonctionnement hydrologique en relation avec la morphologie, l'hydrodynamique, les sols et les états de surface.

## 1. DEFINITION ET PRESENTATION D'UN BAS-FOND TYPE

### 1.1. Définition

Suivant RAUNET (1985), les bas-fonds sont les fonds plats ou concaves des vallons et petites vallées dans les parties amont des réseaux de drainage, (fig.1).

Ils représentent des «unités de milieu» spécifiques et essentielles au sein des paysages tropicaux. Ce sont les axes de convergence préférentielle des eaux de surface, des écoulements hypodermiques et des nappes. Ils reçoivent également les transports solides des versants.

Après un certain nombre de confluences de bas-fonds, lorsque le bassin hydrologique devient assez vaste et que les écoulements des cours d'eau acquièrent une compétence suffisante (tri des matériaux, constructions de levées, formation de cuvettes etc...), le bas-fond fait place à la plaine alluviale.

Les bas-fonds se distinguent des vallées alluviales classiques par:

- la taille du bassin versant (de 10 à 200 km<sup>2</sup>)
- leur largeur souvent remarquable
- la faiblesse de la pente longitudinale (< 3%)
- la dynamique de sédimentation et d'érosion est faible
- l'engorgement ou la submersion des sols pendant une période plus ou moins longue de l'année.

RAUNET (1985) présente un modèle synthétique et idéal d'un bas-fond de la zone soudano sahélienne (fig.2).

### 1.2. La tête de bas-fond :

Les têtes de bas-fonds sont souvent élargies en «spatule» ou en «amphithéâtre». Les sols sont sableux : l'altération en place est proche de la surface. La nappe phréatique y affleure. L'eau de ruissellement s'écoule librement et disparaît rapidement après les crues.

Le bassin versant a une superficie allant de quelques hectares au km<sup>2</sup>.

On n'y distingue pas encore de réseau hydrographique. Le ruissellement se fait en nappe en suivant des chemins préférentiels marqués par la différenciation des pellicules de surface (CASENAVE & VALENTIN, 1988)

### 1.3. La partie amont :

Une discrète entaille formée par la concentration des eaux apparaît au centre du profil transversal qui devient horizontal de part et d'autre de cette entaille. Les flancs sont nettement concaves.

Les sols deviennent argilo-sableux et peuvent y acquérir, si le régime hydrique est assez contrasté, des caractères vertiques. Ils contiennent une part de matériaux issus des versants. On ne remarque pas d'alluvions.

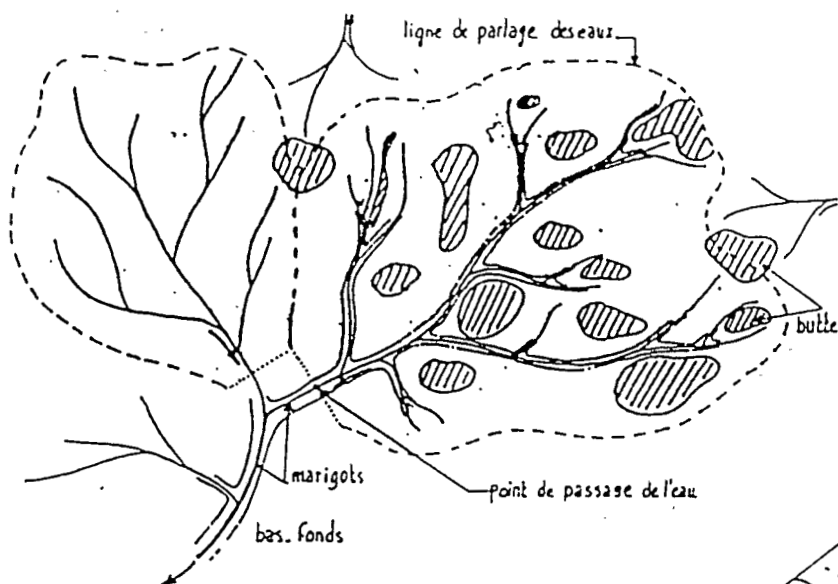
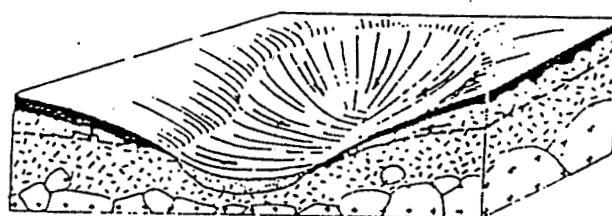
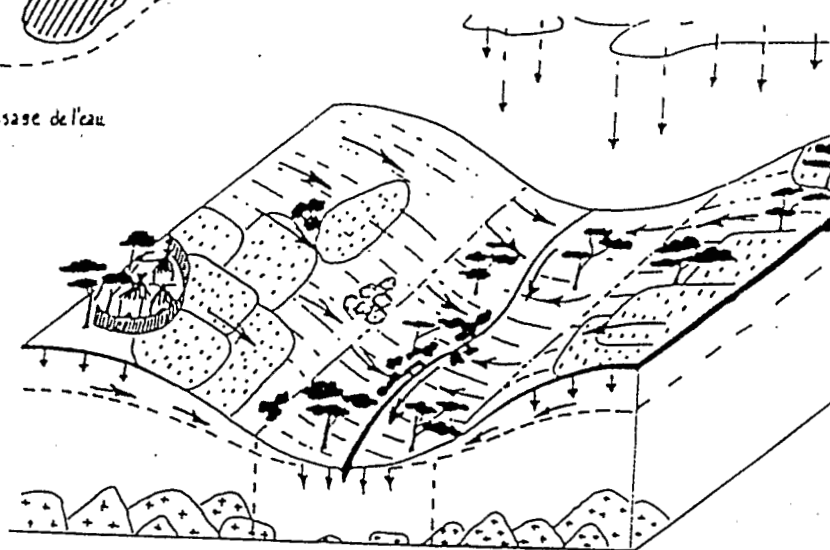
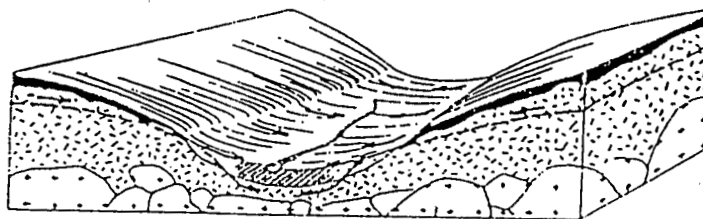


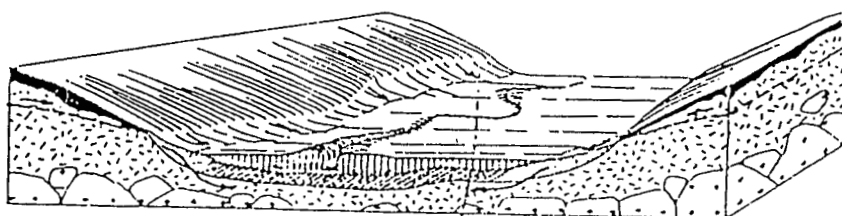
Fig. 1 - Place du bas-fond dans la toposéquence  
AFVP GREY ACCT 1988



Premier tronçon : tête de bas-fond en spatule, absence de cours d'eau



Deuxième tronçon : vallon concave à horizontal ; début d'entaillé



Troisième tronçon : vallon à fond plat à flancs concaves ; petit cours d'eau net encaissé

Fig. 2 - Différenciation morpho-pédologique d'un bas-fond  
d'amont en aval (RAUNET, 1985)

La nappe de surface inonde le centre du bas-fond et peut persister en début de saison sèche. Il existe généralement deux nappes superposées :

- Une nappe profonde dans l'axe du bas-fond située dans les altérites. Elle provient des infiltrations sur les versants. Elle alimente les veines d'eau dans les fissures de la roche mère.

- Une nappe d'eau libre saturante, plus temporaire se trouve perchée dans la couche superficielle argilo-sableuse plus ou moins perméable.

La surface du bassin versant est de 5 à 20 km<sup>2</sup>.

Le ruissellement de surface se concentre dans le centre du bas-fond. Les ravines d'érosion venant des versants disparaissent dans la zone de raccordement et créent des zones d'inondation et d'écoulement de sub-surface (PLANCHON & al, 1987).

Le degré et le temps d'inondation par les crues dépendent de la pente longitudinale et du contrôle hydraulique aval. La violence des crues dépend du régime pluviométrique et de la perméabilité des versants.

Le bas-fond est généralement perméable en début de saison des pluies. Cette perméabilité est induite par la végétation, l'activité de la mésofaune, et les fentes de retrait lorsque le sol a un caractère vertique. Il devient rapidement imperméable lorsqu'il est gorgé d'eau.

#### 1.4. Partie aval :

Le bas-fond s'élargit, son profil transversal s'aplatit. Le cours d'eau est bien marqué et encaissé. Il est bordé de discrètes levées alluviales. Un véritable remblai colluvio-alluvial de texture argilo-limoneuse souvent colmaté et parfois à caractère vertique surmonte la couche sablo-gravillonnaire qui repose sur l'altérite.

La présence des deux nappes superposées (décrites précédemment) est presque systématique. La nappe superficielle logée dans le remblai argilo-limoneux est alimentée par le cours d'eau et sa fluctuation est liée au régime des crues.

Le bassin versant a une surface de quelques dizaines de km<sup>2</sup> à 200 km<sup>2</sup>. C'est l'échelle de la plupart des aménagements de type villageois (GRET, AFVP & ACCT, 1988).

Par rapport aux tronçons amont, le régime hydrologique se complique en raison de l'origine diversifiée des apports ( pluie directe, ruissellement, crue, nappe générale, nappe perchée ) et de leur décalage dans le temps. En pleine saison des pluies le bas-fond s'inonde, les crues ont généralement du mal à s'évacuer, le temps et le niveau de submersion dépendent de la topographie de la vallée alluviale aval qui contrôle l'hydraulicité du bas-fond en phase inondée.

La perméabilité de ces sols est assez faible vue leur texture argilo-sableuse ou argilo-limoneuse. Elle varie en fonction de l'état de surface : sur les parties non cultivées le sol est couvert d'une pellicule de décantation, reposant sur une surface réorganisée comprenant une superposition de pellicules à éléments fins. La perméabilité globale de ces sols mesurée sous pluie simulée et à l'état saturé est toujours inférieure à 10 mm/h (ALBERGEL, 1987).

C'est dans cette partie que l'on trouve le plus fréquemment les cultures. Ces dernières induisent des organisations de surfaces particulières et des variations dans les paramètres hydrodynamiques des sols.

## 2. ESTIMATION DES PARAMETRES HYDROLOGIQUES

Les aménagements de bas-fonds requièrent trois grands ensembles de paramètres hydrologiques:

- Les paramètres climatiques et particulièrement les précipitations qui conditionnent la ressource en eau.
- Les paramètres liés à l'écoulement dans le marigot : crues, tarissements ...
- Les paramètres liés à l'utilisation de l'eau pour les productions agricoles et forestières.

### 2.1. Les études pluviométriques utiles à la maîtrise de l'eau dans les bas-fonds.

L'aménagement d'un bas-fonds commence par la prise en considération de la zone climatique où il se trouve et par la recherche de chroniques pluviométriques. Des fichiers pluviométriques sont disponibles pour toute la zone climatique de l'étude dans les services météorologiques nationaux, à l'ASECNA, principal gestionnaire de données pluviométriques en Afrique de l'Ouest, à l'AGHRYMET qui fournit ces données sur support informatique, à l'ORSTOM où les données pluviométriques sont de plus critiquées et fournies avec une appréciation sur la qualité de la mesure.

Le rassemblement et la compilation des données pluviométriques historiques ont rapidement révélé d'importantes anomalies dans les observations confiées à des bénévoles : changement de site, défaut d'appareillage, erreurs d'observations. Pour la critique des données pluviométriques il existe un outil fiable et performant : «le vecteur régional». Il s'agit de comparer les valeurs modales d'une station à celles d'un ensemble de stations. (HIEZ, 1977 - BRUNET MORET, 1979).

L'analyse statistique des séries corrigées et homogénéisées permet d'obtenir les paramètres utiles à l'analyse hydrologique. (BRUNET MORET, 1969)

#### 2.1.1 Pluviométrie annuelle

C'est le paramètre utilisé dans les méthodes de prédétermination de l'écoulement annuel et dans les bilans hydriques à l'échelle de l'année.

Il existe de nombreuses études régionales de ce paramètre. Citons l'ensemble des grandes monographies hydrologiques (fig. 3) où l'on trouvera les données pluviométriques critiquées et analysées pour les principales stations de longue durées de l'Afrique de l'Ouest.

Avec la sécheresse des dernières années un grand nombre de publications s'est intéressé à la pluviométrie annuelle en zone soudano-sahélienne et aux méthodes d'analyse des chroniques existantes. La stationnarité des séries est remise en question ainsi que la notion de «norme climatique<sup>1</sup>». (CARBONNEL et HUBERT, 1985, SNIDJERS, 1986, MUSY et MEYLAN, 1987) Citons également des études mettant en relation la pluviométrie annuelle, la ressource en eau et la production végétale : ALBERGEL et AL 1984, ALBERGEL et AL 1985.

1. La période 1931-1960 servait de norme climatique (OMM)

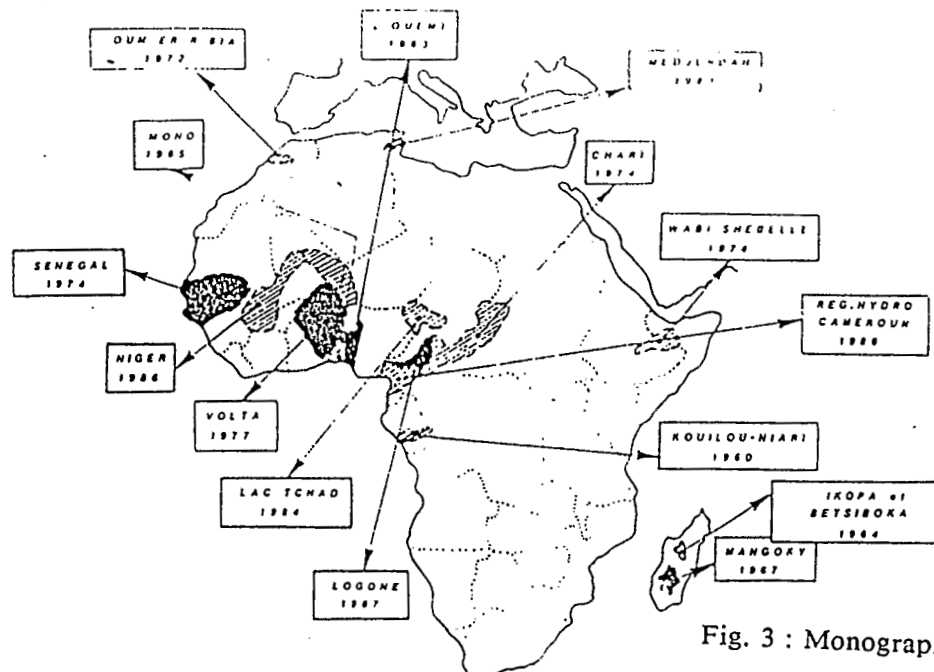


Fig. 3 : Monographies hydrologiques en Afrique

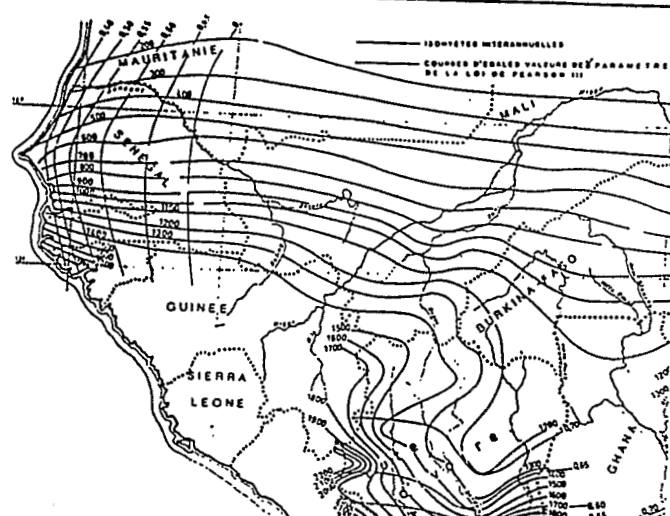


Fig. 4 : Répartition régionale des caractéristiques de pluie journalière (Brunet Moret, 1969)

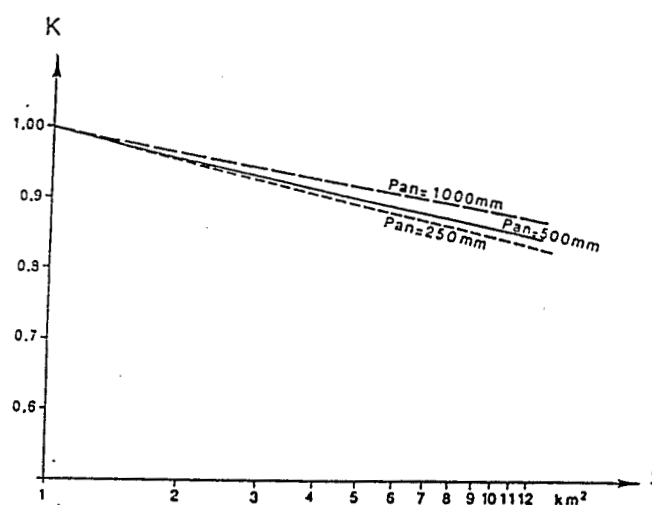


Fig. 6 : Abattement pour la pluie décennale (Vuillaume, 1974)

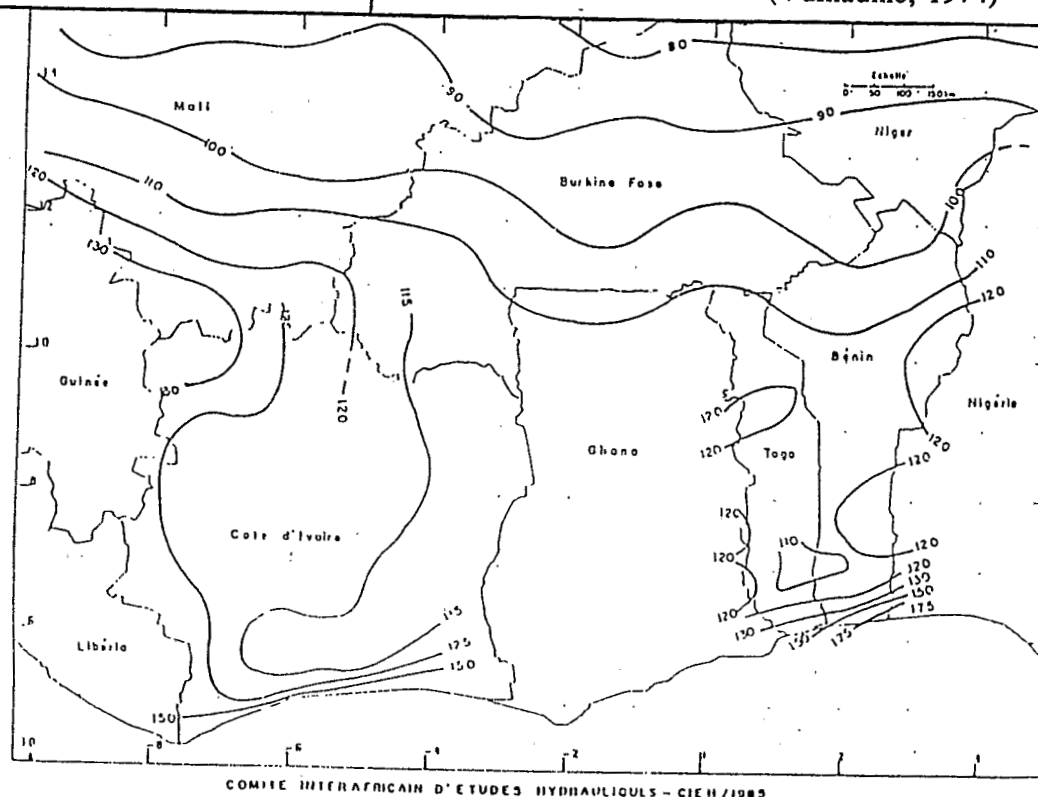


Fig. 5 : Isohyètes des pluies journalières de fréquence décennale

### 2.1.2 Pluviométrie journalière

C'est le paramètre d'entrée des modèles de prédétermination des crues exceptionnelles.

BRUNET MORET, (1968) montre qu'une meilleure estimation des pluies exceptionnelles, est réalisée à partir de l'échantillon des pluies journalières supérieures à 5 mm auquel on ajuste une loi GAMMA incomplète de PEARSON III tronquée. Les valeurs du paramètre GAMMA de la loi de PEARSON III ont été régionalisées (fig.4) sur l'ensemble de l'AFRIQUE occidentale.

Une étude générale des averses exceptionnelles a été réalisée pour chaque pays de l'AFRIQUE Occidentale et du TCHAD, et a donné lieu à une synthèse (BRUNET MORET, 1968). Cette étude basée sur l'analyse des relevées pluviométriques et des enregistrements de pluviographes a permis de déterminer les hauteurs de précipitations journalières de fréquence rare et d'établir les courbes «intensité-durée-fréquence» pour diverses périodes de récurrence.

Une étude plus récente a été réalisée par le CIEH (LAHAYE, 1980, CIEH, 1985). En exemple la figure 5 donne les isohyètes des pluies journalières de fréquence décennale calculées par un ajustement de la loi de GALTON pour une partie de l'AFRIQUE de l'Ouest. L'ajustement d'une loi de GALTON sur l'échantillon des précipitations maximales annuelles est moins satisfaisant pour la détermination des pluies exceptionnelles que la méthode de PEARSON III mais plus simple.

L'influence de la sécheresse sur l'occurrence des événements pluvieux exceptionnels est peu sensible (ALBERGEL, 1986). On montre en effet que le nombre d'événements exceptionnels n'est pas statistiquement différent dans la période humide antérieure à 1969 et dans la période sèche actuelle. Ce résultat présenté au colloque sur "la révision des normes hydrologiques" (OUAGADOUGOU, 1986) montre que les études régionales sur les risques de précipitations extrêmes sont toujours utilisables et en particulier les cartes de la pluie journalière décennale.

Pour passer de la pluie à l'écoulement il faut estimer une précipitation moyenne sur le bassin versant du bas-fond. Pour passer d'une précipitation ponctuelle de récurrence donnée à la précipitation moyenne de même récurrence on peut utiliser l'étude de VUILLAUME (1974) sur l'abattement des pluies en milieu tropical. La figure 6 donne un abaque pour calculer le coefficient d'abattement relatif à la pluie décennale.

### 2.2 Les paramètres liés à l'écoulement

Les bas-fonds en amont des plaines alluviales ont des bassins versants dont la superficie varie de quelques km<sup>2</sup> à 200 km<sup>2</sup>. L'étude du régime hydrologique de telles unités se fait à partir de la méthode des bassins représentatifs.

Cette technique se résume par les étapes suivantes :

- choisir des bassins (entre 1 et 200 km<sup>2</sup> environ) représentatifs du milieu (relief, végétation, sols).

- y observer 2 à 5 ans de façon intense tous les éléments du cycle hydrologique, pour en déduire des relations pluie-débit fiables.

- extrapoler les relations pluie-débit dans le temps sur le bassin représentatif et en faire l'analyse statistique.

- régionaliser les résultats pour extrapoler les données hydrologiques à des bassins



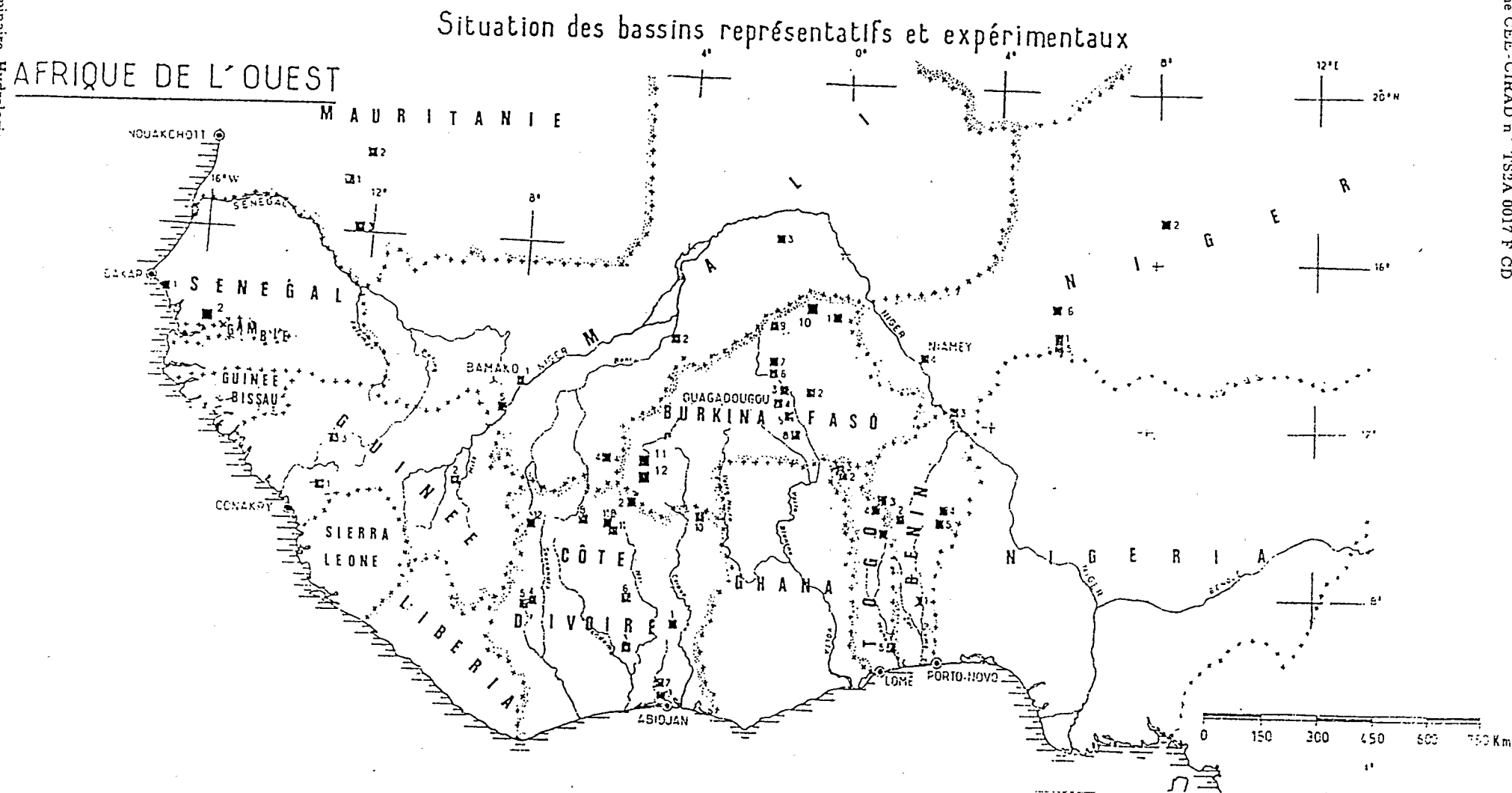


Fig. 7 : Répartition des bassins versants représentatifs (Dubreuil, 1971)

non observés.

La figure 7 montre la répartition géographique des bassins représentatifs étudiés en Afrique de l'Ouest francophone. On remarquera que la plupart des milieux physico-climatiques du domaine que nous étudions ont été équipés. Le milieu côtier et les grands ensembles sédimentaires récents ont été moins étudiés que les zones continentales (2 ensembles de bassins versants au SENEGAL contre 12 au BURKINA FASO).

L'ensemble des données recueillies jusqu'en 1972 a été collecté et traité de manière uniforme (DUBREUIL 1972). Cette synthèse a permis de normaliser les observations et leur présentation.

On remarquera que l'échantillon des bassins versants observé est surtout caractéristique des régions à fort coefficient de ruissellement. Le choix géographique des études s'est fait en fonction du risque de crues exceptionnelles. La plupart des observations de débits ont été réalisés à l'amont de ce que l'on a appelé "partie aval" du bas-fond idéal.

L'information recueillie sur ces bassins représentatifs a permis diverses synthèses:

- des notes de calcul permettant la prédétermination de paramètres de l'écoulement utiles aux dimensionnements d'ouvrages.

- des études sur les phénomènes de genèse des écoulements, du ruissellement et de l'infiltration. Ces études ont abouti à la conception de modèles hydrologiques performants pour réaliser la transformation des pluies en débits à tous les pas de temps.

#### 2.2.1 Etude de l'écoulement annuel dans les bas-fonds soudano-sahéliens

A partir des relations entre la pluie et l'écoulement annuel sur les bassins représentatifs RODIER (1975) a construit des abaques donnant une estimation de la distribution statistique de l'écoulement annuel d'un petit bassin versant en fonction de sa surface et d'une typologie faite sur des paramètres physiographiques simples des bassins. La figure 8 donne en exemple l'abaque de la distribution des écoulements pour un bassin de 5 km<sup>2</sup>

Le recours à une description du milieu par quelques paramètres simples, (précipitation, évaporation, pente, surface...) a fourni une estimation raisonnable de l'écoulement annuel, souvent à 20% près, parfois à 50% (DUBREUIL et VUILLAUME 1975)

La connaissance de la distribution statistique de l'écoulement annuel d'un bas-fond permet de confronter la ressource aux besoins, dimensionner des réservoirs et de calculer les risques de défaillance.

#### 2.2.2 Etude des crues

Tout projet d'aménagement nécessite la définition d'une crue dite «crue de projet». En fonction des observations faites sur les petits bassins versants, les hydrologues de l'ORSTOM ont proposé pour les petits aménagements dans la zone soudano-sahélienne, de calculer les caractéristiques d'une crue dite décennale. Si les conséquences du dépassement de cette crue étaient particulièrement désastreuses, on serait conduit à prendre une marge de sécurité plus ou moins grande par rapport à la crue calculée, ce qui revient à considérer une crue de fréquence plus rare.

La crue décennale calculée pour l'aménagement d'un bas-fond se définit comme la crue provoquée par une pluie décennale, toutes les autres conditions du ruissellement étant

moyennes : saturation des sols, forme de la pluie, développement de la végétation ...

Deux méthodes de prédétermination de la crue de projet existent sur l'ensemble de l'Afrique de l'Ouest pour des bassins sur lesquels on ne dispose d'aucune mesure hydrologique :

-La méthode RODIER & AUVRAY (1965) pour les bassins de 10 à 200 km<sup>2</sup>. Elle repose sur une estimation globale de la capacité d'infiltration du bassin, organisée en 6 classes. Cette capacité associée à un domaine climatique, à une classe de relief et à la surface permet d'estimer l'ensemble des paramètres de la crue de projet : volume ruisselé, débit de pointe, temps de montée, temps de base.

La méthode de RODIER & AUVRAY est en cours de révision pour intégrer l'ensemble des données récentes. Une première note pour les bassins dont la superficie est inférieure à 10 km<sup>2</sup> a déjà été publiée (RODIER & RIBSTEIN, 1988).

La figure 9 donne la procédure de calcul de la part du ruissellement dû à une averse décennale sur un bassin de superficie inférieure à 20 km<sup>2</sup>.

-La méthode PUECH & CHABI GONI (1984) pour des bassins allant jusqu'à 600 km<sup>2</sup>. Les différents paramètres de la crue décennale calculée sur les bassins représentatifs ont été mis en relation avec les caractéristiques physiques du bassin par régression multiple. La surface et l'indice globale de pente sont les facteurs déterminants de la méthode (fig.10).

Pour la mise en oeuvre de l'une ou l'autre de ces méthodes on peut se référer à l'ouvrage «Le point sur la maîtrise des crues dans les bas-fonds». GRET, CF, ACCT (1987). Dans ce dossier sur les aménagements de bas-fonds, RIBSTEIN donne des informations pratiques sur ces méthodes et en fait la critique. Il faut retenir de cette critique les points suivants:

-pour les bassins dont la surface est inférieure à 10 km<sup>2</sup>, il faut utiliser la méthode RODIER & RIBSTEIN en employant les diagrammes et le questionnaire «check-list» spécifiques à cette gamme de bas-fonds.

-pour les bassins dont la surface est comprise entre 10 et 120 km<sup>2</sup> il est possible d'utiliser la méthode RODIER & AUVRAY de 1965 (en attendant la révision) ou la méthode PUECH & CHABI GONI. La première méthode demande une bonne connaissance des régimes sahélo-soudaniens, la seconde est plus facile d'emploi.

-pour les bassins dont la surface est comprise entre 120 et 600 km<sup>2</sup> la méthode de PUECH & CHABI GONI est la seule à donner des résultats, mais elle n'est utilisable que pour des bassins versants ni trop perméables, ni trop imperméables avec une dégradation hydrographique modérée.

Pour des aménagements sur des bas-fonds dont le bassin versant dépasse 120 km<sup>2</sup>, il est possible de se rattacher à des études régionales lorsqu'elles existent. Citons en exemple l'étude de la prédétermination de la crue de projet pour la région MALI-SUD (région de SIKASSO) (LAMAGAT, 1980). La figure 11 donne le débit spécifique de la pointe de crue décennale pour des bassins dont la superficie varie de 30 à 100 000 km<sup>2</sup>.

Il n'est possible de dresser de tels abaques que par unité régionale homogène où les paramètres: géologie, climat, sols, états de surfaces et relief, ne varient pas avec l'échelle).

Ces méthodes de calcul mises au point pour une région donnée sont encore peu nombreuses. Un tel travail a été réalisé pour l'ensemble des unités géographiques du CAMEROUN (OLIVRY, 1986)

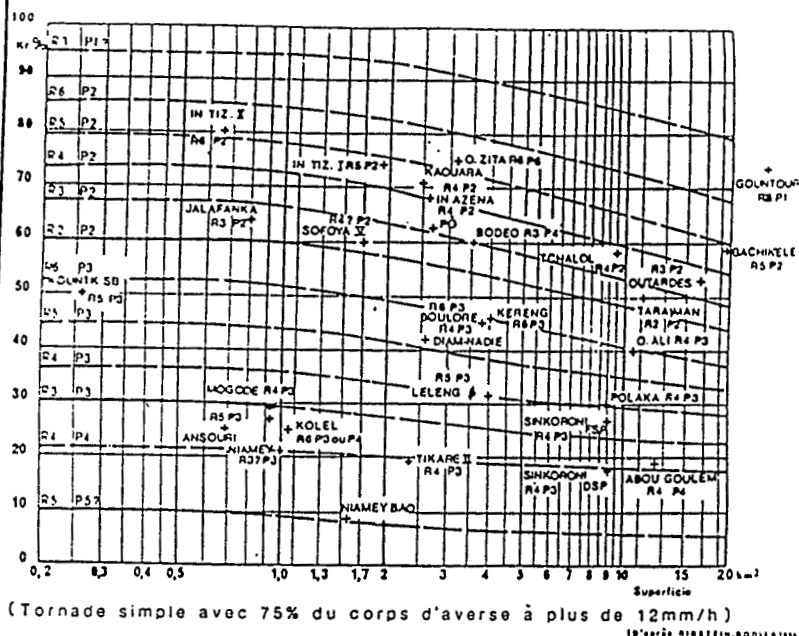
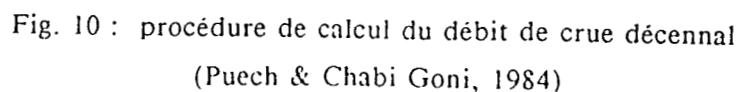


Fig. 9 : procédure de calcul du coefficient d'écoulement décennal (Rodier & Ribstein, 1987)



### 2.2.3 Ecoulement de base et relation avec la nappe alluviale

Dans une grande partie du domaine climatique qui nous intéresse (Nord de l'isohyète 800 mm) et vue la taille des unités hydrologiques concernées, l'essentiel de l'écoulement provient du ruissellement pendant la crue et l'immédiat après-crue. On ne peut donc pas parler d'écoulement de base.

Entre les isohyètes 800 et 1000 mm on observe un écoulement quasi permanent pendant toute la saison des pluies dans les bas-fonds. Cet écoulement peut être très faible lorsqu'apparaît une période de 10 jours sans pluies. Il est rare qu'il persiste plus d'un mois après la dernière pluie de l'hivernage.

Le tableau suivant donne les conditions d'apparition d'un étiage annuel non nul sur un bassin (DUBREUIL, 1986).

Tableau : Occurrence d'un débit d'étiage dans un bas-fond en Afrique de l'Ouest

Pluie (mm)	Bassin	QE
<1000		Jamais
1000 à 1250	Schistes, argiles Terrains granitiques  Grès	Jamais $Q < 0.5 \text{ l/s/km}^2$ si nappe temporaire bien drainée $Q < 0.5 \text{ l/s/km}^2$ toujours
1250 à 1600	Shistes, argiles, gneiss  a. Terrains granitiques  b. Grès	Jamais  si nappe temporaire bien drainée  Toujours  a et b : $1 < Q < 7 \text{ l/s/km}^2$
>1600		Toujours $1 < Q < 9 \text{ l/s/km}^2$

Les relations entre l'écoulement et les nappes alluviales n'ont fait l'objet que de très peu d'études. Dans la plupart des travaux sur bassin versant les ressources en eau souterraine ont été négligées. Lorsqu'il a été tenté d'en faire l'estimation, on s'est limité à une analyse sommaire des valeurs annuelles des données pluviométriques, des évaporations, et de ruissellements pour évaluer la partie infiltrée à l'échelle annuelle et parfois mensuelle.

Notons cependant quelques études qui ont associé hydrologues et hydrogéologues:

-Bassin versant de KORHOGO en COTE D'IVOIRE (CAMUS et al, 1976)

-Bassin versant de SANGUERE au CAMEROUN (CASENAVE, 1978)

Si l'hydrogéologie des grands aquifères (ARCHAMBAULT, 1960) et celle des milieux fissurés (POINTET, 1985) commence à être bien connue en Afrique de l'Ouest, on a encore peu de données sur les petites nappes alluviales des bas-fonds. Ces nappes sont souvent temporaires mais peu profondes et exploitables plusieurs semaines après la saison des pluies.

Dans plusieurs projets d'aménagements de bas-fonds les eaux souterraines apparaissent comme une ressource intéressante pour relayer les eaux de surface dans l'irrigation des cultures de contre saison. Des aménagements permettent une meilleure recharge des nappes alluviales: digues filtrantes, barrages souterrains... Mais les études les concernant restent le plus souvent à faire.

### 2.3. Recherches sur les phénomènes d'écoulement, ruissellement

#### 2.3.1 Modélisation hydrologique

La recherche fondamentale sur les phénomènes de genèse des écoulements, du ruissellement et de l'infiltration s'est développée parallèlement aux travaux appliqués sur les bassins représentatifs. Elle a permis la conception de modèles hydrologiques.

Ces modèles ont des objectifs variés allant de la prédétermination de crues types, à la génération de chroniques de données, en passant par la simulation du fonctionnement de systèmes d'eau.

Parmi les modèles appliqués aux bas-fonds en Afrique de l'Ouest on distingue les modèles à discrétisation spatiale d'une part et les modèles globaux d'autre part (SERVAT, 1986).

En ce qui concerne les premiers, le bassin versant est découpé en surfaces élémentaires, chacune d'elles réagissant à sa manière et ayant ses propres fonctions de production et de transfert. Dans cette catégorie on citera le modèle GIRARD & LEDOUX (1981) adapté aux petits bassins versants (CHEVALLIER et al, 1985, ALBERGEL et al, 1987). Le bassin versant est découpé en unités de surface homogène à partir d'images satellite. La fonction de production de chaque surface est obtenue par une expérimentation sous pluie simulée. En illustration de cette méthode la figure 12 montre une simulation des niveaux d'eau dans la mare d'OURSI (SAHEL) pour différentes hypothèses de pluviométrie.

Avec les modèles globaux, par contre, on ne considère qu'une fonction de production et qu'une fonction de transfert, le bassin étant réputé réagir dans son ensemble. Citons le modèle de l'hydrogramme unitaire (DUBREUIL, 1974) qui permet la prédétermination des crues. Une synthèse intéressante sur les différentes fonctions de production au pas de temps journalier a été réalisée par SEGUIS (1987) sur l'ensemble des bas-fonds sahéliens. Les modèles conceptuels et globaux CREG, MODGLO, MODIBI, présentés par SERVAT dans sa note de 1986, permettent la simulation des écoulements à des pas de temps variables. Utilisables sur micro-ordinateurs, ce sont des outils performants pour l'analyse de la ressource en eau des bas-fonds de l'Ouest Africain.

Parallèlement au développement des modèles hydrologiques, des recherches ont été menées pour la transposition des caractéristiques hydrologiques d'un bassin étudié à un bassin inconnu.

Des méthodes de caractérisation du milieu ont été développées. Les facteurs conditionnant le ruissellement ont été hiérarchisés. Cette hiérarchie montre la prédominance des états de surface pour la zone climatique qui nous intéresse (ALBERGEL et al, 1985).

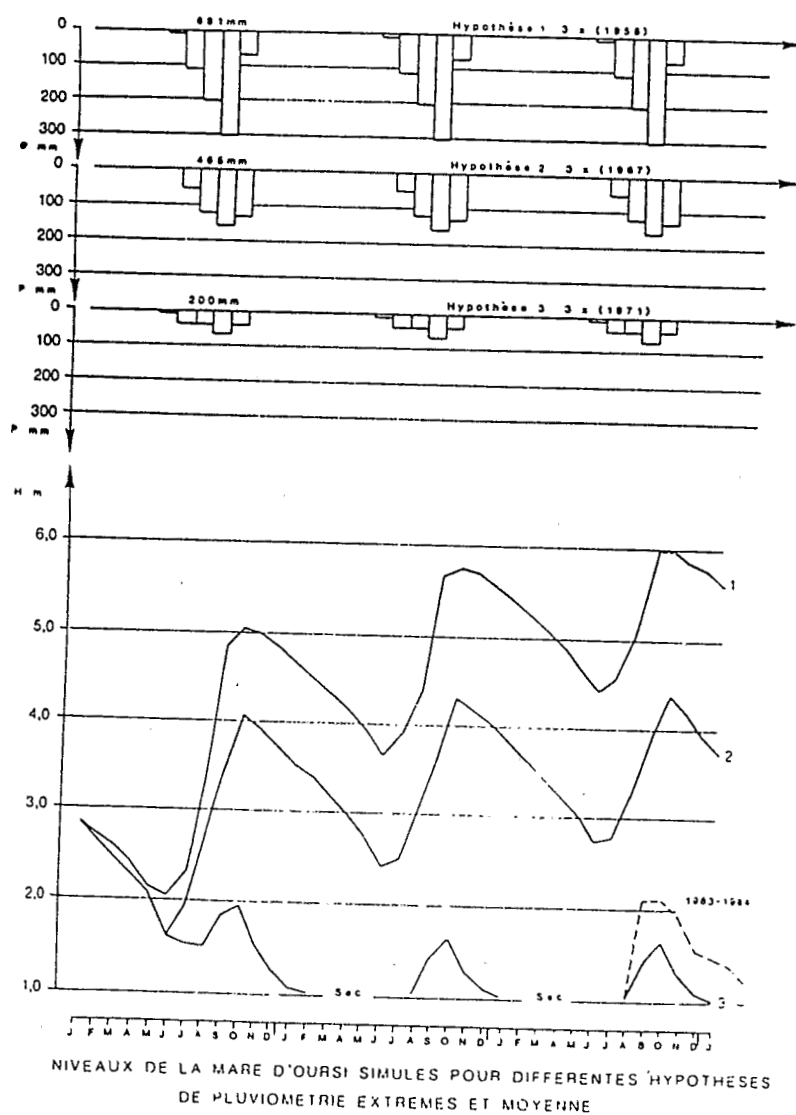
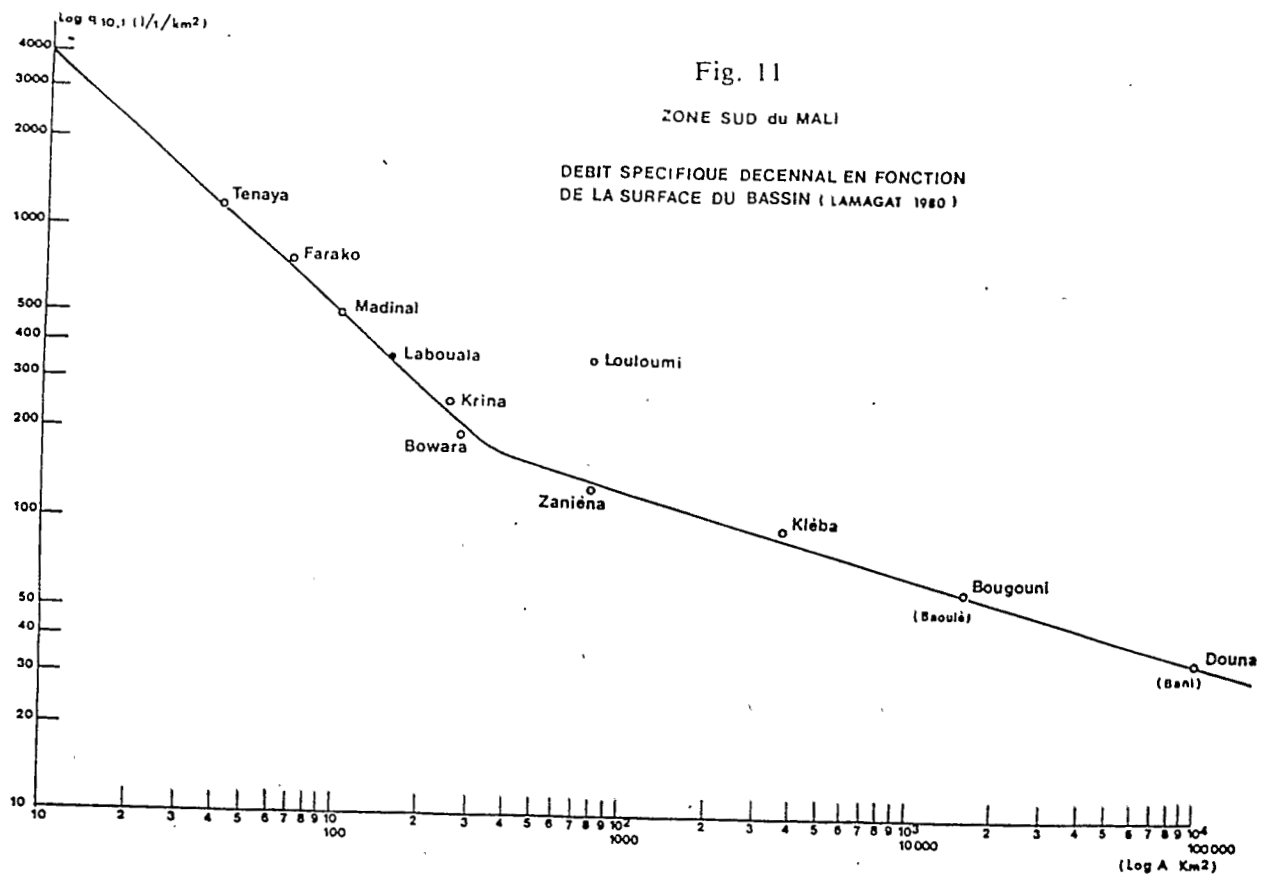


Fig. 12 : Simulation des niveaux d'eau dans la mare d'OURSI (Chevallier & al, 1985)

La cartographie des états de surface mise au point par VALENTIN (1985) permet de diviser un bassin versant sahélien en aires contributives homogènes au ruissellement.

Un catalogue des états de surface a été publié (CASENAVE & VALENTIN, 1986). Ce répertoire des aptitudes au ruissellement des sols de la zone soudano-sahélienne présente pour chaque état de surface les caractéristiques qui permettent de l'identifier (photos à l'appui) et les caractéristiques hydrologiques correspondantes, en particulier les paramètres de l'infiltrabilité.

### 2.3.2 Méthodes de calcul de l'évaporation

Dans la zone intertropicale l'évaporation est un terme majeur du cycle de l'eau. L'évaporation mesurée sur bac, sol nu, varie de 4800 mm/an dans le sahel prédésertique à 2600 mm/an sous l'isohyète 1200 mm.

Les méthodes utilisant les lois de la thermodynamique (bilan énergétique et aérodynamique) ont été appliquées à l'échelle de la station expérimentale. On peut citer entre autre les travaux de RIOU (1980) réalisés à NDJAMENA, BANGUI et à BRAZZAVILLE. RIOU montre diverses corrélations entre type de bac d'évaporation en fonction de l'environnement et entre l'évaporation et le rayonnement solaire. Il cale la formule de calcul du rayonnement net aux conditions sahéliennes et propose une méthode de calcul de l'ETP (formule de PENNMANN modifiée).

- Plus appliquée aux aménagements, l'étude de l'évaporation des plans d'eau libres de la zone intertropicale (POUYAUD, 1985), montre qu'il est possible de calculer l'évaporation:

- soit à l'aide de corrélations avec des mesures bac ou avec des paramètres climatiques (température, rayonnement) au pas de temps mensuel et annuel, mesurées en station climatique de référence

- soit par l'approche énergétique au pas de temps mensuel et décadaire (formule de PENNMANN ou de PRIESTLEY TAYLOR)

- soit enfin par la méthode des transferts globaux à tous les pas de temps, du jour à l'année.

Si ces notions d'évaporation «climatique» sont proches de ce qui se passe dans un bas-fonds inondé, il n'en est pas de même sur les versants où l'évaporation résulte essentiellement de la transpiration des plantes.

L'évapotranspiration réelle de la végétation est un domaine de recherche récent commun aux agronomes et aux hydrologues. Ce thème forme un axe prioritaire du réseau R3S principalement dans sa composante parcelle.

Des études effectuées au SAHEL, on peut citer :

- à l'échelle de la parcelle, les travaux de CHARROY et al (1978), FOREST, (1984), L'HOMME & ELDIN (1985)

- à l'échelle régionale et utilisant la télédétection, les travaux de SEGUIN et al. (1985) et ASSAD et al (1986).



Notons également la synthèse présentée par REYNIER & FOREST (1988) sur l'amélioration de l'alimentation hydrique de l'agriculture pluviale au sud du SAHARA

### 2.3.3. Ruissellement, érosion, évolution avec les activités anthropiques

Du bassin expérimental conçu comme un outil hydrologique destiné à tester les effets des modifications d'occupations des sols sur la ressource en eau on passe normalement au concept d'aménagement du bassin : "recherche de la localisation spatiale dans un bassin versant ou dans un territoire villageois des différentes activités humaines - élevage, forêt, cultures, etc", de sorte que les productions agro-sylvo-pastorales soient maximales (et économiquement rentables) et que les potentiels en terres et en eaux soient conservés.» (DUBREUIL, 1986)

L'eau apportée au sol soit par précipitation, soit par irrigation a trois devenir possibles : le ruissellement immédiat, l'infiltration ou l'évaporation. La part relative de l'infiltration dépend de la nature du sol et surtout de son état de surface. Ces derniers paramètres varient avec l'occupation du sol et les modes cultureux.

ROOSE (1977) montre que le ruissellement et l'érosion croissent énormément après défrichement, mais s'amenuisent sous cultures couvrantes (forte densité) et si l'on protège le sol par de la litière (MULCH). Il montre également que l'équation de pertes en terre de WISCHMEIER est applicable en Afrique tropicale après réglage de ses différents paramètres.

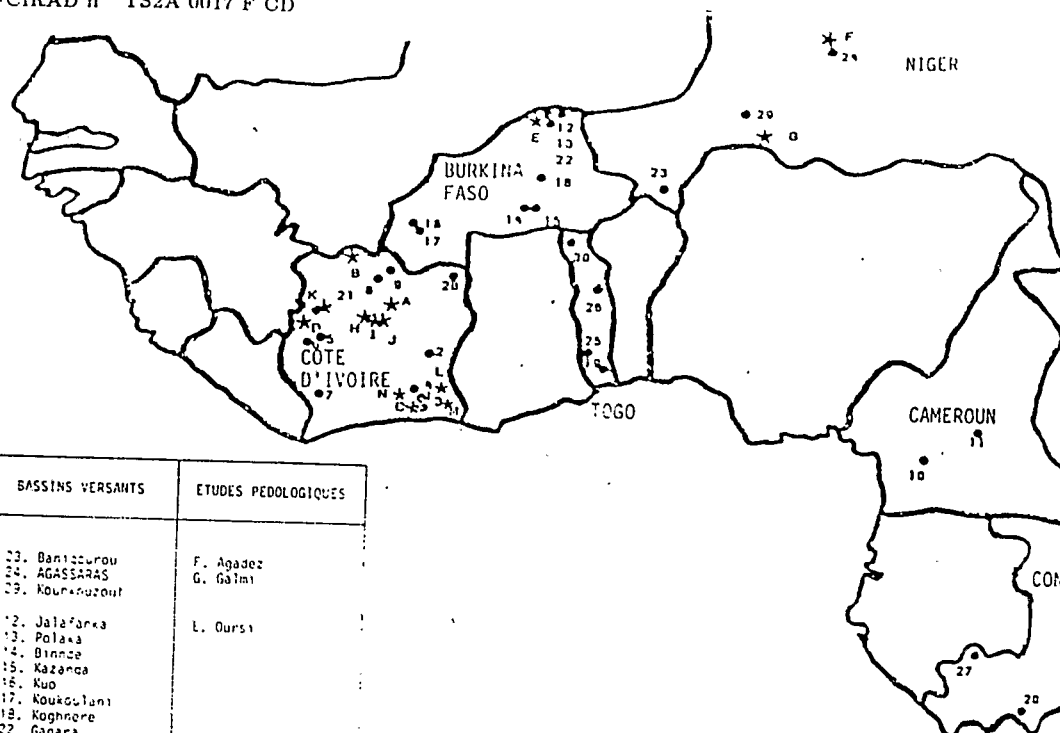
La simulation de pluie a apporté également des informations intéressantes sur l'évolution des perméabilités des sols en fonction des occupations. Par exemple, la part du ruissellement dû à une pluie de 40mm sur parcelle passe de 1 à 10% quand le couvert végétal de graminée décroît de 95 à 30%, atteint 25 à 35% sur le même sol cultivé et dépasse 40% sur le sol nu (fig.14, ALBERGEL & VALENTIN, 1986)

On montre également que pour des techniques culturelles traditionnelles (travail du sol à la houe, buttes MOSSI dans les bas-fonds), la lame infiltrée est la résultante de deux variables dont les poids sont équivalents : la pluie d'imbibition et le coefficient d'infiltration en fin de pluie. La première de ces variables est liée à la rugosité du sol résultant de son travail, la seconde est liée à la présence de la litière et de l'activité de la mésofaune (ALBERGEL, 1987).

La carte 13 montre les différents sites où une expérimentation de pluie simulée a eu lieu. Sur chaque site, l'ensemble de la toposéquence a été testé et on dispose de données sur les sols et états de surface du bas-fond (en général trois parcelles ont été installées dans le bas-fond pour chaque site).

En zone de savane tropicale (Nord de la COTE D'IVOIRE, Sud du BURKINA FASO), la reprise après 20 ans d'anciens bassins représentatifs a permis de quantifier les effets d'un accroissement des terres cultivées sur les caractères hydrologiques du bas-fond. Cet accroissement des cultures est lié à la croissance démographique, et à la diminution du rendement pendant les années de sécheresse. (Cf. ALBERGEL & GIODA, 1986, GROUZIS & ALBERGEL, à paraître, ALBERGEL et al, à paraître).

Sur le bassin sahélien de KOGNERE (BURKINA FASO) où les cultures de mil passent de 16 à 37% de la surface le ruissellement d'une pluie de 40 mm passe de 21 à 42%, (les autres conditions de ruissellement étant sensiblement les mêmes)



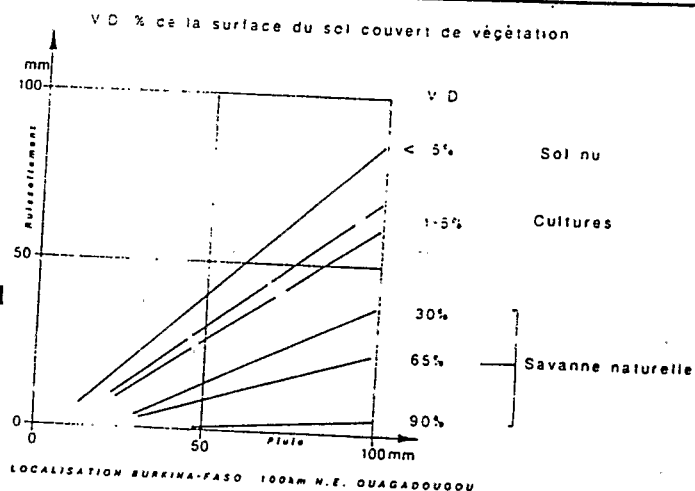
	BASSINS VERSANTS	ETUDES PEDOLOGIQUES
NIGER	23. Danissourou 24. AGASSARAS 29. Kouroumout	F. Agadez G. Galmi
BURKINA FASO	12. Jala Fanka 13. Polakka 14. Binne 15. Kazenga 16. Kuo 17. Koukoulani 18. Koghner 22. Gagara	L. Oursi
COTE D'IVOIRE	1. Mango 2. Ifou 3. Agbey 4. Anicioro 5. Nion 6. Loue 7. Taï 8. Warantié 9. Worossantinkaha 21. Dooro-Borotou 28. Waralé	A. Katiola B. Tingrela C. Adiopodoume D. Soula H. Wedala I. Tiéningboud J. Marabadiassa K. Booro-Borotou L. Azaguié M. Aboisso N. Niéky
TOTO	19. Lac Elia 25. Dayes 26. Kante 30. Nadjoudi	
CAMEROUN	10. Ottotomo 11. Avea	

Fig. 13 : Répartition des sites testés au simulateur de pluie

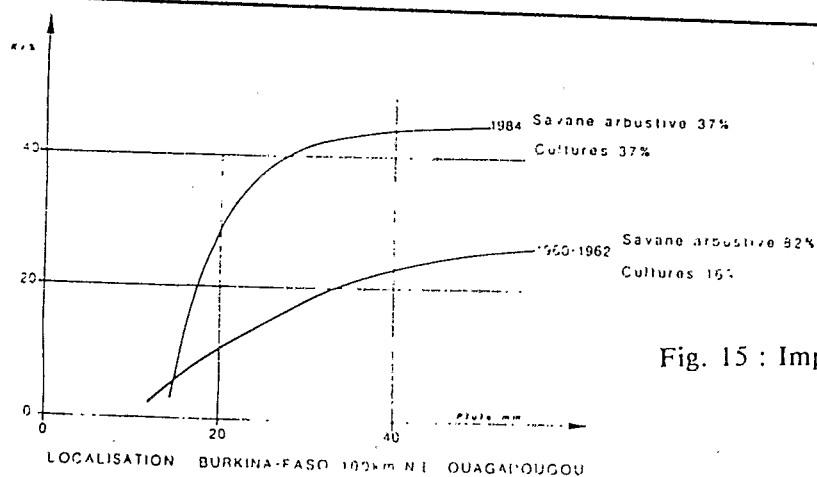
avril 1988

(A. CASENAVE et C. VALENTI).

Fig. 14 : Ruissellement et occupation du sol (Albergel, 1987)



LOCALISATION BURKINA-FASO 100km N.E. OUAGADOUGOU



LOCALISATION BURKINA-FASO 100km N.E. OUAGADOUGOU

D'après Albergel, Gada, 1984

Fig. 15 : Impact du changement d'occupation du sol

### 3. DIFFERENTES FAMILLES DE BAS-FONDS

A partir du catalogue des bassins versants étudiés (DUBREUIL et al, 1972) et en s'appuyant sur le modèle de référence décrit plus haut il est possible de distinguer provisoirement dans la zone climatique délimitée par les isohyètes 300 et 1400 mm cinq grandes familles de bas-fonds, chacune caractérisée par un type de régime hydrologique fonction du climat, des matériaux, de la morphologie et de l'utilisation faite par l'homme.

Les trois premières familles concernent les zones cristallines du continent, les deux dernières les régions sédimentaires plus proche de l'Océan.

#### 3.1 Les bas-fonds sahéliens (isohyètes 300 à 700 mm)

Une des principales caractéristiques de cette zone climatique est la dégradation hydrographique. Les écoulements se concentrent dans les talwegs et dépressions par un réseau de chenaux d'érosion désordonnés. Le lit des marigots généralement bien marqué à l'amont dans la croûte caillouteuse du sol disparaît progressivement vers l'aval et évolue vers des bas-fonds inondables au cours sinueux. Des faux bras s'en détachent pour former des petites mares marquées dans le paysage par une couronne d'épineux. Le lit mineur du marigot tend à s'estomper, il ne subsiste que sous la forme de mares allongées séparées par des seuils d'alluvionnement latéraux. Dans les zones les plus septentrionales les dépôts de sable éolien peuvent venir masquer la dépression.

L'écoulement des crues s'étale et inonde de grandes surfaces encombrées de graminées et de buissons. La stagnation de l'eau et les défluent tendent à amortir les crues. Elles n'en restent pas moins violentes à cause des forts coefficients de ruissellement sur les versants : le coefficient de ruissellement décennal peut être supérieur à 60% sur un bassin versant de 25 km<sup>2</sup> (CHEVALLIER et al., 1985). On observe de 15 à 20 crues par an.

Ces bas-fonds sont caractérisés par des vertisols et des sols hydromorphes minéraux peu humifères. Ils sont vite saturés et retiennent mal l'eau dans des argiles gonflantes. Des fentes de dessiccation font leur apparition quelques semaines après la fin des pluies, donnant l'image type de la sécheresse sahélienne. L'eau s'infiltre mal dans ces sols très imperméables après la fermeture des fentes aux premières pluies. Les flaques et mares sont reprises par évaporation.

Il faut atteindre une dimension de bassin versant nettement plus importante que celle concernée par les bas-fonds pour voir apparaître une nappe d'inféro-flux et une nappe dans les altérites en relation avec le marigot. On n'observe ni écoulement de base ni même d'écoulements hypodermiques.

#### 3.2 Les bas-fonds des régions soudano-sahéliennes (700 < P < 1100 mm)

Les bas-fonds sont peu encaissés, à pentes longitudinales faibles, ils commencent par des vallons élargis à sols sableux lavés ou argilo-sableux colmatés sans entaille linéaire (fig.16). En aval ils s'élargissent très vite. Le profil transversal est horizontal. Les dépôts de colluvio-alluvions de 1 à quelques mètres d'épaisseur sont entaillés par un petit cours d'eau profond coulant par intermittence. Les dépôts sont souvent argileux.

Ces dépôts sont alimentés par l'érosion des bassins versants. Les conditions de dépôt sont variables en fonction de l'intensité des pluies et de la violence des crues: formation de couches superposées sablo-gravillonnaires (écoulements forts) et argilo-limoneuses (écoulements lents).

L'hydrologie est caractérisée par de fortes crues créant une submersion générale en saison des pluies.

La nappe d'inondation est généralement épaisse, sa persistance dépend du degré de colmatage des sols et du contrôle hydraulique aval. Elle alimente par infiltration dans le remblai une nappe phréatique peu profonde et à forte vitesse de circulation dans les parties sablo-gravillonnaires : c'est la nappe d'inféro-flux.

Après la saison des pluies, ou même durant des périodes sèches pendant l'hivernage, la nappe d'inondation tarit. Elle n'alimente plus la nappe d'inféro-flux qui tarit à son tour par écoulement longitudinal ou par infiltration profonde.

Seule la nappe phréatique des altérites persiste en saison sèche; son niveau baisse. Les sécheresses prolongées de ces dernières années ont conduit à l'assèchement de plusieurs de ces nappes.

En saison sèche, ces bas-fonds sont asséchés en surface et en profondeur sur une frange plus ou moins importante.

En exemple de ces bas-fonds on peut citer les bassins étudiés par LAMACHERE (1984) à NIENA DIONKELE et FOULASSO LELASSO à l'Ouest du BURKINA-FASO et en zone plus sèche les bassins de BIDI dont l'étude est inscrite au programme R3S/ORSTOM/CEE.

### 3.3 Les bas-fonds des régions soudano-guinéennes ( $1100 < P < 1400$ )

Ces bas-fonds sont moins larges, plus encaissés et forment des réseaux plus denses que ceux décrits précédemment (fig.16). Ils sont affectés par la remontée ou l'écoulement latéral des nappes des altérites et la convergence des ruissellements superficiels. Lorsqu'ils sont aménagés, les bas-fonds sont souvent utilisés pour des cultures de rente: riz, coton, maïs...

Les tronçons amont ont une longueur de l'ordre du km, le bassin versant drainé a alors une surface allant de 2 à 10 km<sup>2</sup>. Le profil transversal est assez concave, le lit mineur du cours d'eau n'est pas nettement marqué. Les sols sont très sableux en bordure et argilo-sableux au centre. Ces sols ont une porosité très faible, l'infiltration des eaux de ruissellement y est faible, la nappe est alimentée par les pluies infiltrées sur les versants.

Les crues fournissent une nappe d'inondation peu persistante et ce sont les sorties latérales de la nappe phréatique qui assurent le remplissage, cette dernière n'est pas directement affleurante.

Sur ces tronçons amont on peut prendre comme bassin type le bassin de KORHOGO au Nord de la COTE D'IVOIRE étudié par CAMUS & al.(1976)

En aval, le bas-fond s'élargit (plus de 100 m), la pente longitudinale devient plus faible et le profil transversal plus horizontal. Il faut avoir un bassin de plus de 100 km<sup>2</sup> pour passer à la plaine d'inondation proprement dite, ce qui permet d'avoir des bas-fonds d'une dizaine de km de long.

Ces tronçons constituent les parties les plus importantes pour les aménagements de type villageois. Les sols ont généralement de bonnes potentialités agricoles puisque formés sur les remblais alluviaux.

Le cours d'eau est bien canalisé dans un lit sinueux. Il alimente ou draine la nappe alluviale qui repose sur une argile sableuse colmatée. Cette nappe est sub-affleurante et ses remontées capillaires permettent d'avoir un sol humide plusieurs semaines après l'arrêt des pluies.

Cinq à sept semaines après le début des pluies ces tronçons sont inondés, la nappe des altérites affleure en amont et en bordure. A ce débordement des nappes s'ajoutent les eaux de ruissellement des versants.

Les aménagements doivent prévoir à la fois la protection contre les crues et la régularisation du niveau d'inondation par drainage. On rencontre généralement des casiers rizicoles planés, entourés de diguettes et drainés. L'eau est captée par des prises au fil de l'eau dans les régions les plus humides ou à partir de petites retenues à batardeaux (moins de 3 m de haut).

Les bas-fonds des régions COMOE au BURKINA et SIKASSO au MALI et étudiés dans le cadre du programme CIEH/R3S/CEE, sont typiquement du style décrit ci-dessus.

### 3.4 Les bas-fonds des formations sédimentaires du Continental terminal.

Si la morphologie des paysages est très voisine de ce qui existe sous le même climat (pluviométrie comprise entre 500 et 1000 mm) en zone de socle, le fonctionnement hydrologique est différent.

Le réseau hydrographique est bien marqué, il se présente sous forme d'entailles convexes à forte pente reliant le bas de glaciis aux bas-fonds. Ces derniers sont constitués de sols d'apport, peu évolués et généralement très sableux. Relativement filtrants ces sols ne conviennent pas à la riziculture inondée. Par contre, ils offrent des perspectives pour des cultures supportant l'inondation passagère, des cultures de décrue et, avec irrigation, des cultures maraîchères de contre saison.

Les bassins versants ont souvent des formes très allongées, les rivières creusant leur lit dans la ligne des grandes failles. Le bas-fond commence par une dépression parcourue par de nombreuses ravines d'érosion au changement de pente entre le plateau de sommet et les glaciis-versants de raccordement. Il se poursuit par un tronçon très long allant en s'élargissant et recevant des affluents latéraux courts et actifs quant à l'érosion.

On observe une vingtaine de crues par an, elles sont violentes, le débit spécifique de pointe en crue décennale atteint 2000 l/s/km<sup>2</sup> sur un bassin de 15 km<sup>2</sup>. L'écoulement tarit très vite après la crue (quelques heures pour un bassin versant d'une dizaine de km<sup>2</sup>) laissant quelques mares dans les dépressions où a pu s'accumuler une fine couche d'argile.

La nappe phréatique exploitée est celle des dépôts sédimentaires du continental terminal. Elle est profonde (15m au dessous de la surface du bas-fond). Ses relations avec la nappe d'inondation en surface sont mal connues et font l'objet d'une action de recherche (programme CIRAD/R3S Sine Saloum au SENEGAL).

### 3.5 Les bas-fonds des zones fluvio-marines

La riziculture est une tradition des bas-fonds des deltas saumâtres des grands fleuves atlantiques de l'Afrique de l'Ouest, depuis les régions sèches (embouchure du Sénégal), jusqu'aux climats très humides des forêts guinéennes. Cette culture tend à se développer avec les nouvelles habitudes alimentaires, et de vastes programmes d'aménagements et d'amélioration des variétés sont en cours.

Nous prendrons comme exemple une situation climatique intermédiaire : les bas-fonds de CASAMANCE.

Sur plus de 200 km le fleuve CASAMANCE est une vaste "ria" ennoyée par la mer (transgression FLANDRIENNE). La vallée du fleuve comme celles de ses affluents est très large. Surcreusées dans les formations sablo-argileuses du Continental Terminal alors que le niveau océanique était beaucoup plus bas, ces vallées ont été ensuite le lieu d'une sédimentation active à toutes les périodes pluvieuses du quaternaire.

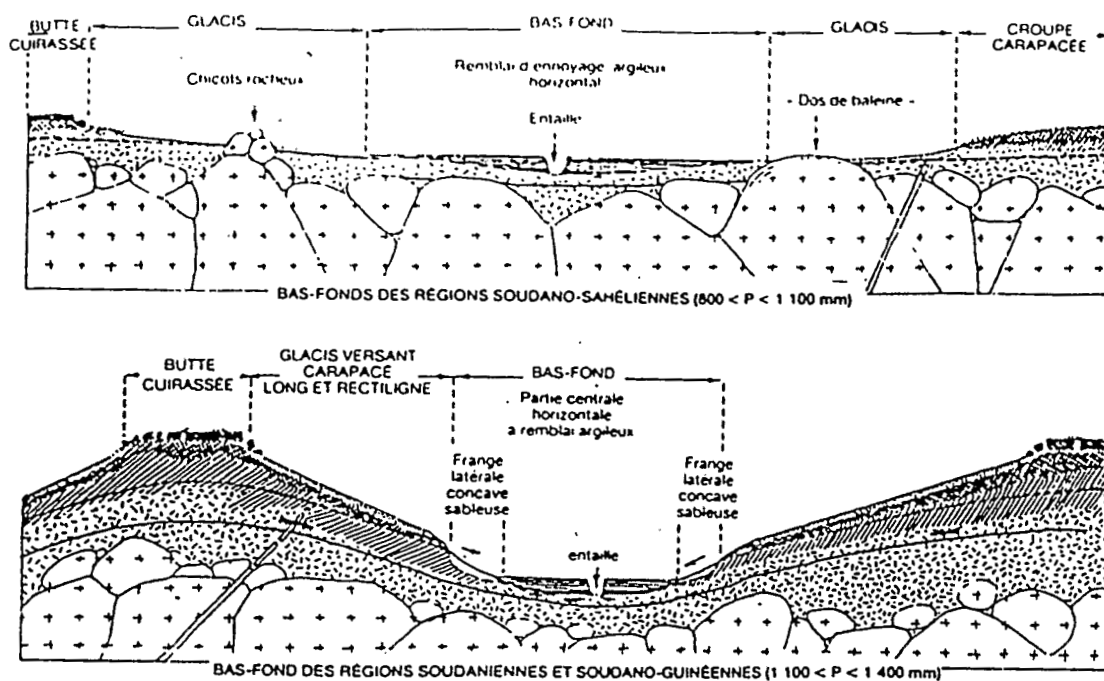


Fig. 16 - Principaux types de bas-fonds en zone de socle  
(RAUNET, 1985)

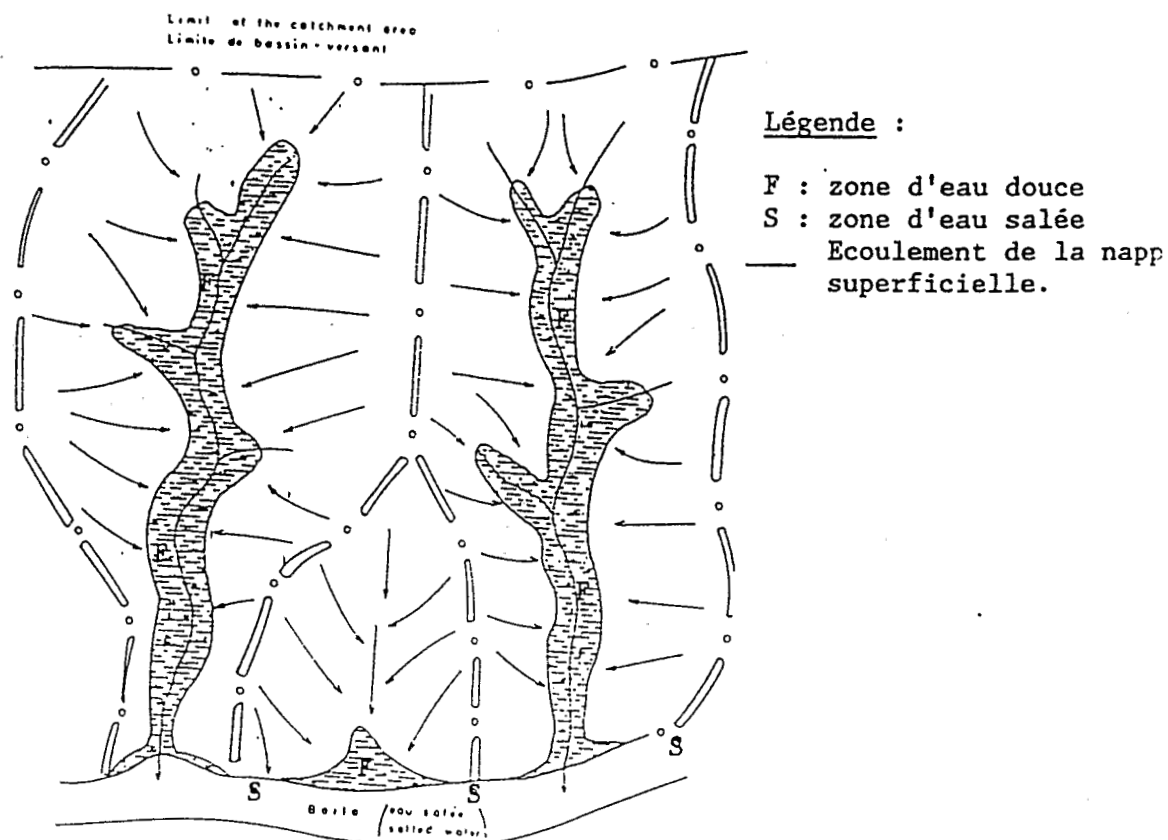


Fig. 17 - Fonctionnement hydrologique d'un bas-fond en Casamance

De cette histoire géologique récente il résulte pour la partie amont du réseau hydrographique une série de bas-fonds larges séparés par des plaines à faibles ondulations. Le bas-fond représente entre 15 et 20% de la surface du bassin versant (fig.17).

Les interfluves sont très perméables : la perméabilité mesurée sur différents sites du Continental terminal est comprise entre  $5 \cdot 10^{-5}$  et  $11 \cdot 10^{-7}$  m/s ( BCEOM, 1985). Pour les zones basses, la quasi permanence de la submersion (eau douce lors des écoulements et invasions salines par les marées) induit une infiltration négligeable. On considère que dans le bas-fond le coefficient de ruissellement annuel est de 80% et celui de la crue décennale de 100% (OLIVRY & DACOSTA, 1984). Le bas-fond représentant peu de surface les crues ne sont pas violentes, les débits spécifiques de pointe pour la crue décennale sont de l'ordre de  $150 \text{ l/s/km}^2$  pour des bassins versants de  $100 \text{ km}^2$ . Les crues sont fortement amorties dans les réseaux très larges.

On distingue un aquifère superficiel et des aquifères profonds, dont le mieux connu et légèrement exploité, est celui des formations argilo-sableuses.

La nappe superficielle se trouve dans les différentes formations mises en évidence par la géomorphologie: sables rouges, sables des terrasses... Son plancher imperméable est constitué par les argiles jaunes du Continental Terminal. Sa surface piézométrique reflète fidèlement la morphologie du terrain avec des gradients très faibles sous la surface des plateaux, et une accentuation de la pente vers les versants. Alimentée par l'infiltration des pluies sur les interfluves cette nappe s'écoule vers les affluents latéraux sur la quasi totalité des berges et «rivalisent» sur un front continu avec les eaux salées.. On remarque que les rizières longent toutes les berges.

En fonction de la pluviométrie, les écoulements d'eau douce sont plus ou moins importants et surtout durent plus ou moins longtemps après la saison des pluies.

La dernière sécheresse très fortement ressentie dans ces régions a eu pour effet la sur-salure des eaux et des sols ainsi que leur acidification par oxydation avec le rabattement généralisé des aquifères (BOIVIN, LOYER & al.,1988).

Les aménagements de ces bas-fonds doivent prendre en compte à la fois la disponibilité en eau douce (écoulement superficiel et écoulement des nappes), les phénomènes de marée et la fragilité des sols qui ont tendance à s'acidifier très rapidement lorsqu'ils sont exondés (BOIVIN & al, 1986).

## CONCLUSION

Une des premières constatations est que le fonctionnement hydrologique du bas-fond n'est pas dissociable de celui de l'ensemble du bassin versant. Le fonctionnement hydrologique jusqu'à la partie amont des bas-fonds est bien connu à partir de l'ensemble des bassins représentatifs étudiés en Afrique de l'Ouest.

La carte des bassins versants représentatifs ou expérimentaux, suivis pendant au moins deux années montre que la plus forte densité d'études se trouve au BURKINA FASO au Nord de la COTE D'IVOIRE, du TOGO et du BENIN, au NIGER, et au MALI.

Dans la plupart des milieux physico-climatiques de l'AFRIQUE de l'OUEST continentale on trouvera un point de référence. La latitude, le type de végétation, la géologie, la carte des sols, et le catalogue des états de surface d'un bassin doivent permettre de le rapprocher d'un bassin étudié.

Une insuffisance de points observés se fait ressentir dans le domaine sédimentaire côtier (SENEGAL, GAMBIE, GUINEE) et dans les zones montagneuses du versant Nord du FOUTA DJALON. Le peu de bassins versants installés en zone sédimentaire s'explique par deux faits:

- en un premier temps les hydrologues se sont intéressés plutôt aux bassins à fort coefficient d'écoulement

- l'existence de nappes phréatiques bien connues a rendu l'exploitation des eaux de surface pour les besoins villageois moins urgente.

Dans le FOUTA DJALON les études de bassins versants se sont arrêtées au début des années 60. Une reprise de cette méthode d'étude du milieu naturel semble se faire en accompagnement des projets de développement (projet de suivi de 13 couples de bassins versants expérimentaux).

Pour l'ensemble des études de bassins versants à venir les recommandations suivantes peuvent être suggérées:

- choix des terrains pour englober la composante bas-fonds au début de l'étude

- standardisation du matériel de mesure; opter pour du matériel automatique d'acquisition des données à chaque fois que l'enveloppe budgétaire le permet

- homogénéisation des protocoles de mesures pour obtenir au minimum une fiche type semblable à celle du recueil de DUBREUIL (1971) pour chaque bassin.

L'ensemble des méthodes d'évaluation des paramètres hydrologiques nécessaires aux aménagements de bas-fonds et de dimensionnement des retenues et des évacuateurs de crues repose sur une typologie descriptive des bassins versants. Cette typologie reste encore du domaine d'un hydrologue très expérimenté et connaissant bien le milieu. Les travaux en cours pour simplifier cette typologie et la rendre utilisable par un aménagiste non hydrologue devraient s'orienter vers un «système expert» utilisant la micro-informatique.

Les modèles hydrologiques développés sur les petits bassins sont aptes à simuler la production en eau des versants et son transfert jusqu'à l'amont des bas-fonds. Ils permettent la simulation de chroniques et l'estimation des risques (manque ou excès d'eau). Tous les modèles utilisés ont besoin d'être calés sur les observations. On travaille actuellement à les rendre utilisables sur des bassins n'ayant pas faits l'objet d'observation. Ceci nécessite un choix de paramètres d'ajustement des modèles tel que ceux-ci puissent être déterminés à partir des caractéristiques du milieu. La précision sera moindre mais suffisante pour des projets de faibles dimensions, ou pour les avant-projets.

On remarquera que la mise au point des modèles hydrologiques se heurte souvent à un manque de données sur les nappes et leur relation avec l'écoulement de surface surtout si l'on s'intéresse à la partie aval du bas-fonds.

Les études doivent maintenant se focaliser sur les relations entre les nappes et l'écoulement, et sur le transit de l'eau dans le bas-fond en fonction du contrôle aval. Ce contrôle aval est souvent compliqué par les crues dans la plaine alluviale provenant de rivières plus importantes et décalées dans le temps, ou par les phénomènes de marées dans les estuaires.

Avec le développement des actions de recherches multi-disciplinaires l'hydrologie a élargi son champ d'action à l'eau dans le sol et ses relations avec les plantes.



La conservation des potentiels en terres et en eaux devient un souci majeur des aménagistes et le point de rencontre de plusieurs disciplines. La méthode des bassins expérimentaux se développe et doit être encouragée malgré l'importance des moyens à mettre en oeuvre. Très performante pour l'étude des aménagements de versants cette méthode doit être adaptée aux aménagements des bas-fonds. Elle est mise en oeuvre dans le cadre du projet R3S: CIRAD/CEE au SINE SALOUM.

Une autre méthode moins onéreuse consiste en la reprise d'observations sur d'anciens bassins représentatifs après une évaluation précise des modifications du milieu et des aménagements éventuels. C'est le cas du projet MALI-SUD où les observations hydrologiques doivent reprendre sur les bas-fonds de LANGORLA et SAMOROSSONI après leurs aménagements.

Les études hydrologiques de bassin versant ont rarement fait l'objet de travaux portant sur la qualité chimique des eaux ou sur les transports solides et les matières en suspension. La qualité chimique de l'eau est un problème pour l'aménagement du domaine côtier de l'Afrique Soudano-sahélienne. Ces aspects sont abordés dans les projets mis en place au SENEGAL par le réseau R3S.

Les grandes familles de bas-fonds présentées dans cette synthèse est une ébauche de typologie. Elle doit s'affiner grâce aux résultats que l'on obtiendra sur les projets pilotes et être régionalisée par l'important programme de télédétection prévu dans le projet de recherches sur les bas-fonds.

#### REFERENCES

ALBERGEL J., CARBONNEL J.P., GROUZIS M. (1984) Péjoration climatique au BURKINA FASO. Incidences sur les ressources en eau et sur les productions végétales. *Cah. ORSTOM, ser. hydrol. Vol. XXI, n°1* pp 3-19

ALBERGEL J. (1986). Evolution de la pluviométrie en AFRIQUE soudano sahélienne. Exemple du BURKINA FASO, *Col. international sur la révision des normes hydrologiques suite aux incidences sur la sécheresse, CIEH OUAGADOUGOU* 17p.

ALBERGEL J., (1987) Genèse et prédétermination des crues au BURKINA FASO. Du m<sup>2</sup> au km<sup>2</sup>, étude des paramètres hydrologiques et de leur évolution. *Thèse de Doctorat es sciences de l'Université de PARIS 6 ORSTOM Coll. Etudes et thèses*, 341p

ALBERGEL J., (1987) Sécheresse, désertification et ressources en eau de surface - Application aux petits bassins du BURKINA FASO. *The Influence of Climate Change and climatic Variability on the Hydrologic Regime and Water Resources (proceedings of the VANCOUVER SYMPOSIUM, AUG.1987)* IAHS Publ.N° 168,1987,pp 355-365.

ALBERGEL J., CARBONNEL J.P., VAUGELADE J. (1985) Aleas climatiques et production agricole : Le coton au BURKINA FASO. *Acta oecologia, oecologia applic. vol. 6 n°3* pp. 192-211.

ALBERGEL J., CASENAVE A., RIBSTEIN P VALENTIN C, (à paraître) Aridité climatique aridité édaphique: Etude des conditions de l'infiltrabilité en Afrique tropicale sèche. *Ouvrage « les zones arides » ed de l'ORSTOM.*

ALBERGEL, J., CHEVALLIER, P., LORTIC, B. (1987). D'OURSIS à GAGARA: transposition d'un modèle de ruissellement dans le SAHEL (BURKINA FASO) *Hydrologie continentale, Vol.2 N°2* pp 77-86.

ALBERGEL J., GIODA A (1986) Extension des surfaces agricoles et modification de l'écoulement. Analyse sur deux bassins de la savane Africaine. *XIX ème jour. de l'hydraulique de la S.H.F. PARIS. Tome 1* pp. 191-196.

ALBERGEL J., RIBSTEIN P., VALENTIN C. (1985) Quels facteurs explicatifs de l'infiltration? Analyse sur 48 parcelles au BURKINA FASO *Journées hydrol. de l'ORSTOM. Coll. Colloques et sém.inaires* pp 26-48

ALBERGEL J., VALENTIN C. (1986) «Sahélisation» d'un petit bassin versant : BOULSA KOGNERE au centre du BURKINA FASO *Col. NORDEST SAHEL*, IHEAL, PARIS

ARCHAMBAULT J (1960) Les eaux souterraines de l'Afrique occidentale. *Edit. Berger Levrault* PARIS, 137 p.

ASSAD et al (1986) Thermographie infra rouge dans l'estimation de l'évaporation à l'échelle régionale. Possibilités d'application à l'aide d'image météosat. Cas du Sénégal. *Agro. Trop* 19pp.

BCEOM, (1985) Aménagement de la plaine de BAILA

BILLON, B., GUISCAFRE, J. (1974) Le bassin du fleuve CHARI *col. Monogr. hydrol. ORSTOM* N°2 450 p.

BOIVIN P. LOYER J.Y. MOUGENOT B. ZANTE P. (1986) Sécheresse et évolution de sédiments fluvio-marins au SENEGAL. Cas de la BASSE CASAMANCE. *Symp. INQUA*, DAKAR.

BRUNET-MORET Y (1968) Etude des averse exceptionnelles en AFRIQUE occidentale. *Synthèse. mult.* ORSTOM PARIS.

BRUNET-MORET, Y (1969) Etude de quelques lois statistiques étudiées en hydrologie *Cah. ORSTOM, ser. hydro. Vol VI, N° 3*,

BRUNET-MORET Y (1979) L'homogénéisation des précipitations *Cah. ORSTOM, ser. hydro. Vol XVI, N° 3, 4 pp. 147-170*

BRUNET-MORET, Y, CHAPERON, P, LAMAGAT, J.P., MOLINIER, M (1986) Monographie hydrologique du fleuve NIGER. *col. Monogr. hydrol. ORSTOM* N°8 2 tomes.

BOIVIN, P., LOYER, J.Y., et al. (1988) Mise en valeur des Mangroves au SENEGAL. *Rapport final.* ISRA, ORSTOM, CEE, 64 P;

CAMUS H., CHAPERON P., GIRARD, G., MOLINIER M., (1976) Analyse et modélisation de l'écoulement superficiel d'un bassin tropical. Influence de la mise en culture. COTE D'IVOIRE, KORHOGO 1962-1972. Tr. et Doc. n° 52 ORSTOM PARIS 81p.

CASENAVE A. & VALENTIN C.(1988) Les états de surface de la zone sahéenne, influence sur l'infiltration. ORSTOM, CEE, 202p + recueil photos

CASENAVE A. (1978) Etude hydrologique des bassins de SENGUERE *Cah. ORSTOM, Ser. hydrol. vol. n°1 et 2 pp 3-209*

CHAROY J., FOREST F., LEGOUPIL J.C. (1978) Evapotranspiration Besoins en eau des cultures. Relations EAU-SOL-PLANTE. Estimation fréquentielle des conditions d'alimentation hydrique en culture pluviale et irriguée. *Cours d'enseignement ADHAREM-ENSAM.*

CHEVALLIER P., CLAUDE J., POUYAUD B., BERNARD A., (1985) Pluies et crues au SAHEL. Hydrologie de la mare d'OURSI (BURKINA FASO) *Trav. et Doc. n° 190 ORSTOM PARIS*, 251p.

CIEH (1985) Etude des pluies journalières de fréquence rare dans les états membre du CIEH. *rap. de synthèse*. CIEH OUAGADOUGOU.

DUBREUIL P. et al; (1971) Recueil des données de base des bassins représentatifs et expérimentaux de l'ORSTOM 1951-1969. ORSTOM PARIS 916 p.

DUBREUIL P. (1974) Initiation à l'analyse hydrologique. *Ed. MASSON et CIE-ORSTOM PARIS* 216p.

DUBREUIL P. (1986) L'évaluation et l'utilisation des ressources en eau des régions semi-arides et intertropicales. Sols et eaux acquis et perspectives de la recherche agronomique française en zone intertropicale. *Acte sém. banque mondiale 15 & 16 MAI 1986 ORSTOM, PARIS*, pp 93-140

DUBREUIL P., VUILAUME, G. (1975) Influence du milieu physico-climatique sur l'écoulement des petits bassins intertropicaux. *Symp. Intern. TOKYO AIHS PUBLISH N°117*

FOREST F. (1984) Simulation du bilan hydrique des cultures pluviales. Présentation et utilisation du logiciel *BIP 4 IRAT MPL 1984*.

GIRARD G., LEDOUX E., VILLENEUVE J.P. (1981). Le modèle couplé. Simulation conjointe des écoulements de surface et des écoulements souterrains dans un système hydrologique. *Cah. ORSTOM, Ser. Hydrol. n°4* pp.151-278

GRET, AFVP & ACCT, (1988) Le point sur la maîtrise des crues dans les bas-fonds, petits et microbarrages en Afrique de l'OUEST DOSSIER N°12, 474p

GROUZIS, M., ALBERGEL, J., (à paraître) Du risque climatique à la contrainte écologique. Incidence de la sécheresse sur les productions végétales et le milieu au BURKINA FASO. *Ouvrage « Le risque en agriculture » ed. de l'ORSTOM*.

HIEZ G. (1977) L'homogénéité des données pluviométriques *Cah. ORSTOM, Ser. Hydrol. Vol XIV, N°2*.

LAHAYE J.P. (1980) Etude des pluies journalières de fréquence rare en HAUTE VOLTA. CIEH OUAGADOUGOU 89 p.

LAMACHERE J.M. (1984) Etude hydrologique des plaines de NIENA DIONKELE et FOULASSO LELASSO, ORSTOM OUAGADOUGOU, 387p 2t.

LAMACHERE J.M. (1986) Les risques d'inondations dans la plaine de NIENA DIONKELE. ORSTOM, OUAGADOUGOU 17p.

LAMAGAT J.P. (1980) Région Sud du Mali, Bilan des observations hydrologiques, ORSTOM, BAMAKO, 13 p.

LHOMME J.P., ELDIN M. (1985) Un modèle agroclimatologique de simulation du bilan hydrique des cultures. *In besoins en eau des cultures conf. intern. de la CIID, INRA, PARIS* pp841-852

MONIOD F., POUYAUD B., SECHET P (1977) Les bassins du fleuve VOLTA *coll. MONOGR. HYDROL. ORSTOM N°5, PARIS*, 513p

MUSY A., MEYLAN P. (1987) Modélisation d'un processus non stationnaire. Application à la pluviométrie en zone semi aride. *The Influence of Climate Change and climatic Variability on the Hydrologic Regime and Water Resources (proceedings of the VANCOUVER SYMPOSIUM, AUG.1987) IAHS Publ.N° 168,1987,pp 281-287.*

OLIVRY J.C. (1986) Fleuves et Rivières du CAMEROUN. *Col. Monographies hydrologiques ORSTOM n°9* 733 p.

OLIVRY J.C. DACOSTA H.(1984), Le marigot de BAILA, Bilan des apports hydriques et évolution de la salinité. ORSTOM DAKAR.

PLANCHON, O., FRITSCH, E. & VALENTIN, C. (1987), Rill development in a wet savannah environment. *Catena Supplement 8 Braunschweig*, p.55-70

POINTET T. (1985) Aperçus sur l'hydrogéologie des milieux fissurés *BRGM note techn. 85/31 ORLEANS* 22p

POUYAUD B.(1985) Contribution à l'évaluation de l'évaporation des nappes d'eau libre en climat tropical sec. Exemples du lac de BAM et de la mare d'OURSI (BURKINA FASO) du lac TCHAD et d'acudés du NORDESTE brésilien. *Thèse d'état, Un. PARIS SUD ORSAY*, 254p.

PUECH C. CHABI GONI D. (1984) Méthode de calcul des débits de crue décennale pour les petits et moyens bassins versants en Afrique de l'Ouest et Centrale. CIEH, OUAGA-DOUGOU. 91 p.

RAUNET M. (1985) Bas-fonds et riziculture en Afrique, Approche structurale comparative, *Agronomie Tropicale*, n°40-3 pp 181-202

REYNIERS F.N, FOREST F. (1988) Amélioration hydrique de l'agriculture pluviale au sud du SAHARA. *Sém. ICRI/CTA* 64 p.

RIOU C. (1975) La détermination pratique de l'évaporation. Application à l'Afrique Centrale. *Mém. ORSTOM n°80 PARIS*

ROCHETT C (1974) Le bassin du fleuve SENEGAL *col. Monogr. hydrol. ORSTOM N°1* 326 p

RODIER J. (1975) Evaluation de l'écoulement dans le sahel tropical Africain. *TR. et doc. de l'ORSTOM*, PARIS 121 p.

RODIER J., RIBSTEIN P. (1988) Estimation des caractéristiques de la crue décennale pour les petits bassins versants du SAHEL couvrant de 1 à 10 km<sup>2</sup> ORSTOM, MONTPELLIER, 133 p.

RODIER J., AUVRAY C. (1965) Estimation des crues décennales pour les bassins versants de superficie inférieure à 200 km<sup>2</sup> en Afrique Occidentale. ORSTOM CIEH

SEGUIN B., et al (1985) Essai du suivi de l'évaporation à partir de l'infra-rouge thermique par satellite au SENEGAL. *Col. sur les recherches françaises en météorologie et télédétection sur le continent Africain PALAISEAU 18-20 juin 80*

SEGUIS L.(1986) Recherche pour le SAHEL, d'une fonction de production journalière (lame précipitée, lame écoulée). *Thèse Doctorat es sciences; Un. des sciences et techniques de LANGUEDOC*, MONTPELLIER, 326 p.

SERPANTIE G. (1988) Aménagements des petits bas-fonds soudano-sahéliens: éléments pour des choix de priorités et de techniques, exemple de la digue filtrante de BIDI-GOURGA ORSTOM OUAGADOUGOU, 12 p.

SERVAT E. (1986) Présentation de trois modèles globaux conceptuels déterministes : CREG, MODGLO et MODIBI, ORSTOM MONTPELLIER, 58p.

SNIDJERS T.A.B. (1986) Interstation correlations and non stationarity of BURKINA FASO rainfall. *Journ. of climate and applied meteorology* vol.25 pp 524-531.

VALENTIN C. (1985) Différencier les milieux selon leur aptitude au ruissellement : une cartographie adaptée aux besoins hydrologiques. *Journées hydrol. de l'ORSTOM. Coll. Colloques et sèm.* pp 50-74.

VALENTIN C., FRITSCH, E., PLANCHON O (1987), Sols, surfaces et formes d'érosion linéaire en milieu ferrallitique de savane : l'exemple d'un bassin versant du Nord-Ouest de la Cote d'Ivoire. *ISBRAM PROCEEDINGS* n°4, pp. 67-80

VUILLAUME G. (1974) L'abattement des précipitations journalières en Afrique intertropicale, variabilité et précision du calcul. *Cah. ORSTOM, ser. hydrol.* vol XI n°3: pp 205-225.